第2章

エア・バッグ・システムのセンサをつなぐSafe-by-Wire Plusバス

CANよりも少ない配線数とシンプルなプロトコルで高信頼性を実現

車載センサ・ネットワーク編

Len Arguello

エア・バッグに代表されるセーフティ系システムでは，数多くのセンサ，およびエア・バッグの展開やシートベルトの巻き取りを行う装置がECUにつながっている．既存の車載ネットワークとは別に，こうしたセーフティ系システムに特化したバス規格が提案されている．ここでは，その一例として「Safe-by-Wire Plus（ASRB2.0：Automotive Safety Restraints Bus）」を紹介する．マスタとスレーブの間の通信および電源供給は2本の信号線のみで行う．1対1でECUとセンサをつなぐ場合と比べて，ECUのコネクタ・ピン数や配線数を削減できる．（編集部）

消費者の要求に後押しされて，自動車の乗員安全システム，および安全基準はますます進歩しています．最近では，こうした乗員安全システムは自動車のあらゆる部分に取り入れられようとしています．

1 衝突時の安全性を高める

現在，開発が進められているアクティブ・セーフティ（能動安全）システムは，自動車がおかれている状況や起こりうる危険な兆候を監視して運転者に通知します．モニタした情報をもとにして，万一の場合はブレーキやシートベルトなどを制御し，衝突の被害を軽減します．

一方，パッシブ・セーフティ（受動安全）システムは衝突時に乗員を保護することを目的としており，エア・バッグ・システムがその代表例です．最近のエア・バッグ・システムでは，運転者と助手席にいる乗員に対する前方からの衝突に対処するだけでなく，後部座席や側面，窓なども保護対象となっています．また，乗員を分類して（体格や姿勢などを検出して），エア・バッグを適切に展開するための機能も導入されようとしています．乗員の分類やスマート・エア・バッグ・システム注1については，米国連邦車両安全基準「FMVSS208」注2によって規定されており，米国では徐々に導入されつつあります．

車両の安全対策はもはや車内に限定されていません．欧州では，衝突時の歩行者の検知，および歩行者を保護する技術も進歩しつつあります注3．

こうした先進的な改良が施された安全システムには，かつてないほどの数と種類のセンサが必要になります．これらのセンサは，エア・バッグを展開するための装置やアクチュエータなどとともにECU（電子制御ユニット）に接続されます．

ECUは，車両内のさまざまなセンサ入力をつねに監視します．また，センサ入力に対して瞬時に反応し，乗員を保護するための適切な制御を行う必要があります．増え続ける安全機能の要件を実際に車両に組み込むと，ECUの入出力が劇的に増大します．これに伴い，設計者は膨大な数の配線やコネクタの処理に苦慮することになります．このことは，自動車のコストや機能，信頼性に著しい影響を及ぼします．

● CANではなく，セーフティ系専用バスを策定した理由

こうした背景から誕生したのが「Safe-by-Wire Plusコンソーシアム」です（図1）．本コンソーシアムは，将来の自

注1：乗員の姿勢や体格をセンサで読み取って，エア・バッグの膨張速度を自動調節する機能を備えたシステム．
注2：米国道路交通安全局（National Highway Traffic Safety Administration）は，FMVSS208適合テストに関する情報を公開している（http://www.nhtsa.dot.gov/cars/）．
注3：詳細は，ETSC（European Transport Safety Council；欧州交通安全評議会）のWebサイト（http://www.etsc.be/）を参照のこと．

- 米国Analog Devices社
- スウェーデン Autoliv社
- ドイツ Bosch社
- ドイツ Continental Temic社
- 米国Delphi社
- デンソー(DENSO)
- 米国IMS(Intelligent Mechatronic Systems社)
- 米国Key Safety Systems社
- 米国Melexis Microelectronic Systems社
- 三菱電機(Mitsubishi)
- ルネサス テクノロジ(Renesas)
- オランダ Royal Philips Electronics社
- ドイツ Siemens VDO Automotive社
- 米国Special Devices社
- タカタ(Takata)
- 米国TRW Automotive社

図1 Safe-by-Wire Plusコンソーシアムの会員(2005年5月現在)

コンソーシアムでは,現在,アダプタ会員を受け入れている.関心のある企業は,media@safe-by-wireplus.comまで問い合わせていただきたい.

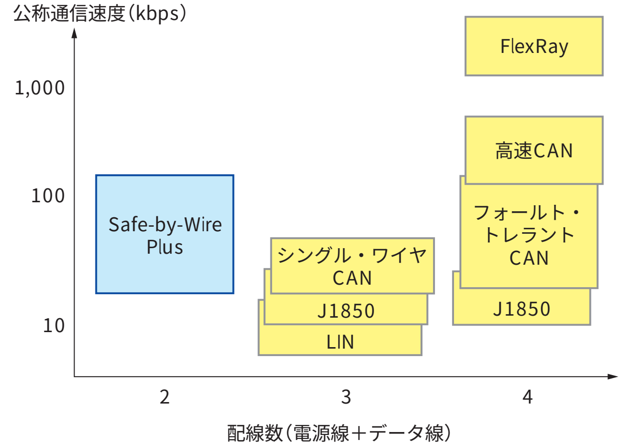


図3 車載ネットワークのバス速度と配線数

Safe-by-Wire PlusはCANなどと比べて通信速度が100kbps前後と低速だが,配線数は少ない.こうした標準的なバス・インターフェースを定義することで,乗員安全システム開発の簡素化を促進することができる.

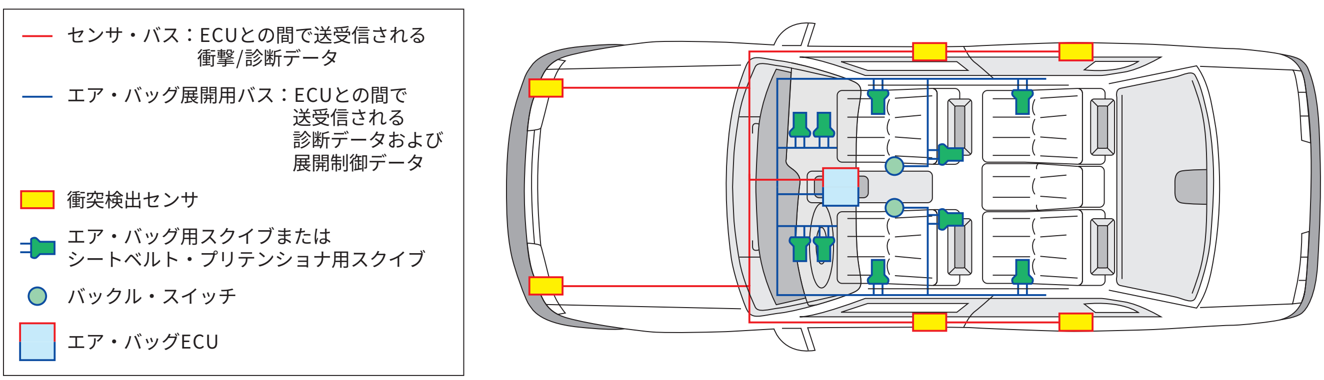


図2 Safe-by-Wire Plusでネットワーク化された自動車の例

この例では,乗員拘束システム(シートベルトやエア・バッグ,サイド・エア・バッグなど)は二つのSafe-by-Wire Plusバスを使って実装されている.一つはセンサ・バスであり,衝撃を検知するセンサ(加速度センサなど)をエア・バッグECUに接続している.もう一つのバスは,エア・バッグやシートベルト・プリテンショナ,乗員検知センサ(例えば,バックル・スイッチ)をエア・バッグECUに接続している.

動車の乗員安全システムの要件に合致したバス技術を開発することに専念しています.本コンソーシアムは,乗員の安全のためのオープンな標準規格として,セーフティ系のバス仕様「ASRB2.0」を策定しました.この仕様はISO 22896の基盤となるもので,現在,ISOの承認プロセスが進んでいます.

エア・バッグ・システムの機能が適切なときに正しく起動するためには,多くのセンサとエア・バッグ作動装置(スクイブなど)が必要であり,これらのシステムのすべてはECUと高速に,かつ高い信頼性で通信を行う必要があります(図2).そこでまず,コンソーシアムは,すでに確立されているほかのバス規格がセーフティ系バスの課題に適用できるかどうかを検証しました.これは,乗員安全システム向けに最適化された新規のバス・プロトコルが必要かどうかを見極めるためです.

当初,自動車で採用実績のあるCAN(controller area network)バスの利用を検討することは,自然な流れでした.しかし,分析の結果,エア・バッグ・システムと典型的なCANバスのアプリケーションには基本的な要求の違いがあることが明らかになりました.

CANバスの場合,ECUと制御モジュールの間のデータ通信に1線または2線の信号線を用いますが,この信号線とは別に電源線およびグラウンド線が必要です.

一方,乗員安全システムでは,ほとんどの拘束装置用モジュールにバス・システムから少量の電流が流れています.そのため,個別にバッテリを接続する必要はほとんどあり

ません．

また，従来のエア・バッグのイニシエータ（点火装置）には，2ピン・コネクタが使用されており，バス構成をとる場合でもこれと同じ標準的なコネクタを引き続き使用したいという強い要望がありました．そこで，コスト面ではデータ通信に2線を使用することが求められていると判断しました．これら2本の配線は，センサなどの外部デバイスとエア・バッグECUの間の通信を行うだけでなく，エア・バッグECUから外部デバイスへの電源供給も行う必要があります．

図3に，Safe-by-Wire Plusとそのほかの標準的な車載ネットワーク規格の比較を示します．

Safe-by-Wire Plusバスは，シールドなしの2線ケーブルを用いて電源やクロックを供給したり，データのやり取りを行います．電源とデータを2線で送ることにより，ECUのコネクタ・ピン数や配線数が大幅に削減されます．こうした特徴は，ネットワークに接続されるデバイスが多くなるほど効果を発揮します．また，ポイント・ツー・ポイント（ECUとデバイスが1対1）接続の場合と比較して，ECUだけでなく周辺装置（ノード）のコネクタ・ピンも減らすことができます．このようなバス方式をとることで，システムの簡素化やコストの低減，柔軟性の向上などを図ることができます．

Safe-by-Wire Plusの特徴を以下にまとめます．

- センサと作動装置のエア・バッグECUに接続する2線式のマスタ・スレーブ・バス方式
- バスを介した電力供給と双方向通信を同時に実現
- バス通信速度は最大180kbps
- 1本のバス配線が短絡（電源，グラウンド）した場合でも耐故障性を確保
- バス型，ツリー型，リング型のトポロジに対応（図4）．また，これらをデイジ・チェーン接続可能

2 Safe-by-Wire Plusの通信方法

Safe-by-Wire Plusシステムは，エア・バッグECUのメイン・マイクロコントローラによって制御されます．マイクロコントローラは，SPI（serial peripheral interface）およびほかの制御線を介してSafe-by-Wire PlusマスタICと通信を行います（p.55のコラム「Safe-by-Wire PlusのマスタIC，スレーブIC」を参照）．

エア・バッグECUのマスタICは，クロック同期のとれた差動電圧をSafe-by-Wire Plusバスに印加します．印加される電圧は，「パワー・フェーズ」と呼ばれる比較的高い電圧（約11V）と，「データ・フェーズ」と呼ばれる低い電圧の期間を交互に繰り返します（図5）．データ・フェーズの期間では，0V，3V，6Vの3種類の差動電圧レベルのうちの一つが現れます．ここで，3Vの場合の論理レベルを‘1’

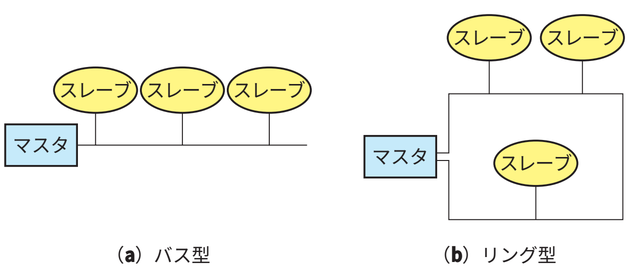


図4　トポロジ
Safe-by-Wire Plusはバス型，リング型などのトポロジに対応している．

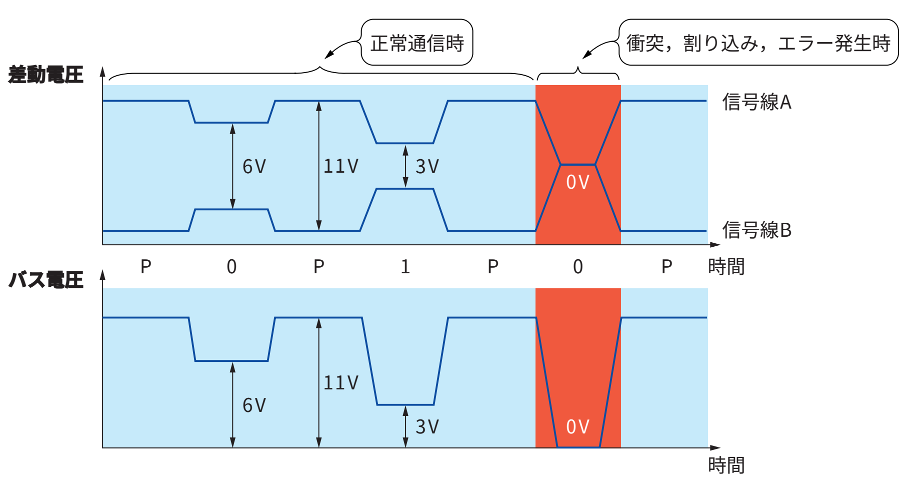


図5　バス電圧
“P”はパワー・フェーズを意味し，バス電圧が高い（11V）間にマスタはスレーブに電源を供給する．‘0’や‘1’はデータ・フェーズを表している．パワー・フェーズとデータ・フェーズは交互に繰り返される．

(L1レベル)，0Vまたは6Vの場合の論理レベルを‘0’と定義しています．差動電圧レベルが6V(L0レベル)のときは通常使用時，0V(LS0レベル)のときは衝突検出時(あるいは割り込み時，エラー発生時)を意味します．

● 二つのメッセージ・フレームで効率良く通信

Safe-by-Wire Plusでは，セーフティ系システムに特化した独自の通信プロトコルを用いています．メッセージ・フレームとしては，「Sフレーム」と「Dフレーム」と呼ばれる二つの形式を利用します．いずれの形式でも，通信はマスタによって開始されます．マスタは，新しいフレームを開始するとき，最初にSOF(start of flame；メッセージ・フレームの開始)を送信します．このSOFによって，すべてのスレーブが新しいフレームに同期します．また，SOFの値によってフレームの形式が決定します注4．

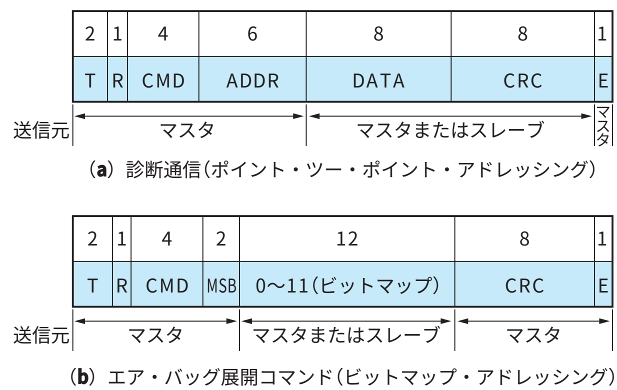
1) Dフレーム

図6にDフレームの構造を示します．Dフレームは，バス・マスタと各スレーブの間の診断通信，または作動可能な装置の選択・起動に使用されます．スレーブの明示アドレスとともに使用すると，Dフレームによってマスタから一つのスレーブへ，あるいはその逆方向にデータの転送が行われます．スレーブからマスタへデータを転送する場合，マスタはまずDATAフィールドとCRCフィールドを‘0’(L0レベル)にしてから注5，Dフレームをスレーブに転送します．スレーブは，これらのフィールドに送るべきデータを上書きします．

Dフレームをビットマップ・アドレッシングとともに使用する場合，データは転送されません．代わりに，CMD(コマンド)フィールドである動作が決定され，その動作を実行する(または実行しない)スレーブを12個まで選択・起動します．

CMDフィールドでは，アドレッシング・モードとデータの方向を決定します．ビットマップ・アドレッシング・モードでは，データや動作の目的もこのフィールドで決まります．

注4：SOF(図6のT)は1ビットの値(‘0’または‘1’)しかもたない．しかし，SOFはほかのフィールドと区別するため，送信には通常2ビット・タイムを要するよう定義されている．
注5：このとき，エラー・フラグ(E)を‘1’とする．



T(SOF)：フレーム・タイプ
(フレーム形式を定義．T=1でDフレーム，T=0でSフレーム)
R：予約済みビット
CMD：コマンド
ADDR：スレーブ・アドレス
DATA：マスタまたはスレーブによって送信されたデータ
MSB+ ビットマップ：そのメッセージに関連した最大12個のスレーブ・アドレスを定義
CRC： 巡回冗長検査コード
E：エラー・フラグ

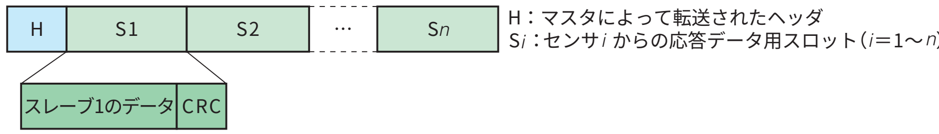
図6 Dフレームの構造

Dフレームは，2種類のスレーブ・アドレスの指定方法を備えている．一つはポイント・ツー・ポイント・アドレッシングという方法で，ある特定の(一つの)スレーブ・アドレスを指定する．(a)のような診断通信などを行うために使う．もう一つはビットマップ・アドレッシングという方法で，MSBフィールドの値に応じて，ある範囲の(複数の)スレーブ・アドレスを指定する．(b)のようなエア・バッグ展開用コマンドのやり取りに用いる．図の数値は各フィールドのビット・タイムを表す．1ビット・タイムは，1ビット当たりの伝送時間のこと．

表1 Dフレーム・コマンド(CMD)コードの要約

	コード	コマンド(内容)	アドレス指定方法	W/R	コード	コマンド(内容)	アドレス指定方法	W/R	
作動装置用バス・コマンド	0000	作動しない	ビットマップ	W	1000	ステータス1読み出し	PtoP	R	ショートカット・コマンド
作動装置用バス・コマンド	0001	LSDテスト	ビットマップ	W	1001	ステータス2読み出し	PtoP	R	ショートカット・コマンド
作動装置用バス・コマンド	0010	HSDテスト	ビットマップ	W	1010	ステータス変更	PtoP	W	ショートカット・コマンド
作動装置用バス・コマンド	0011	作動	ビットマップ	W	1011	ページ数読み出し	PtoP	R	
作動装置用バス・コマンド	0100	作動イネーブル	ビットマップ	W	1100	ポインタ書き込み	PtoP	W	
作動装置用バス・コマンド	0101	イネーブル・ステータス	ビットマップ	R	1101	ポインタ読み出し	PtoP	R	
作動装置用バス・コマンド	0110	作動ステータス	ビットマップ	R	1110	メモリ書き込み	PtoP	W	
	0111	ページ数書き込み	PtoP	W	1111	メモリ読み出し	PtoP	R	
	ポインタを介したスレーブのメモリ/レジスタへのアクセス・コマンド								

PtoP：ポイント・ツー・ポイント　W：マスタからスレーブへの書き込み　R：スレーブからマスタへの読み出し
LSD：(エア・バッグ展開用点火装置の)ローサイド・スイッチ　HSD：ハイサイド・スイッチ



（a）フレーム構造

	マスタがスレーブのサンプル・ポイントと同期する時間	一つのスレーブが1データ・バイトで応答する時間	n個のスレーブの応答に必要な時間
Sフレーム	Sフレーム・ヘッダ：4ビット・タイム	1Sフレーム・スロット：データ・バイト（8ビット）＋ CRC（3ビット）＝11ビット・タイム	4＋n×11（ビット・タイム）
CANバスのデータ・フレーム	0データ・バイトのCANメッセージ：55ビット・ビット*1	1データ・バイトのCANメッセージ：65ビット・タイム*1	55＋n×65*1（ビット・タイム）

*1 最悪ケースにおけるスタッフ・ビット数を含む

（b）CANのデータ・フレームとの比較

図7　S フレームの構造
S フレームのスレーブ応答用スロットは，データ・ビットと CRC だけで構成されている．

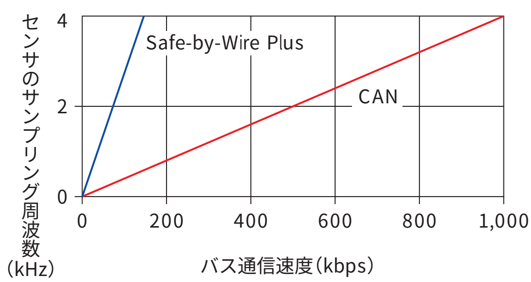


図8　Safe-by-Wire Plus と高速 CAN のスループット
スレーブとしてセンサを三つ接続した場合．かなり低い通信速度で動作している Safe-by-Wire Plus が高速 CAN と同等のスループットを達成していることがわかる．

時間的制約が厳しい処理において，スレーブを迅速に反応させるため，明示コマンド・コードが用意されています（**表1**）．加えて，マスタはスレーブの内部レジスタと任意に通信を行えます．これは，D フレームのシーケンスによって実現されます．D フレームのシーケンスでは，まずスレーブのポインタを要求されたレジスタに設定し，次に読み取り操作または書き込み操作を行います．

2）S フレーム

S フレームは，衝突検出センサと ECU の間のデータ転送要求に最適化されています．S フレームの構造は，FlexRay の静的セグメントのようなタイム・トリガ（あらかじめ時間的にスケジューリングされた）通信に似ています．

マスタが短いヘッダ（4 ビット・タイム）を持つ S フレームを転送すると，S フレームに事前にプログラムされたビット位置（スロット）ごとに各スレーブ（センサ）が応答します（**図7（a）**）．スロットは，データ・ビットと CRC だけで構成されています．各スレーブは，自分が転送しているスロットによって自身を識別します．その結果，スレーブ・アドレスを送信する必要がなくなり，バス上のオーバヘッドが最小限に抑えられます．また，バスの通信速度もそれほど速くないため，バス上の信号伝播遅延はわずかであり，すべてのスレーブはそれぞれのスロット内でバス・マスタと簡単に同期します．

このようなプロトコルの効率の良さは，CAN バスのデータ・フレーム通信と S フレーム通信を比較するとよくわかります（**図7（b）**）．CAN バスの場合，マスタはまずメッセージを送信してからスレーブのサンプル・ポイントと同期します．その後，個々のスレーブ応答メッセージが続きます．**図8**は，バス上に三つのセンサが接続されている場合の通信速度に対するサンプリング周波数を示しています．この図から，かなり低い通信速度で動作している Safe-by-Wire Plus が高速 CAN と同等のスループットを達成していることがわかります．

また，Safe-by-Wire Plus では，同じバスにサンプリング周波数の異なるセンサを接続することも可能です．プロトコルの「スロット共有」という機能を活用すると，異なるポーリング・レートを持つさまざまなセンサを一つのマスタで制御できます．

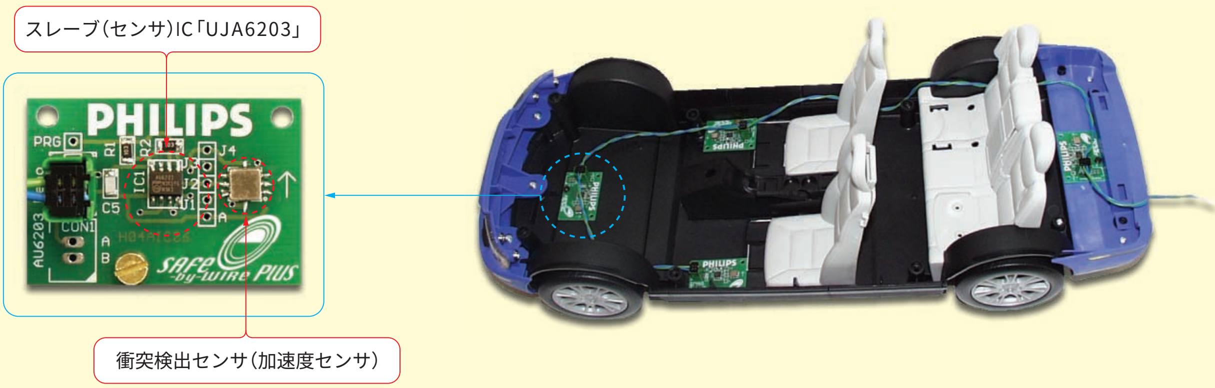
Column　Safe-by-Wire Plus のマスタIC，スレーブIC

現在，筆者ら(オランダPhilips Semiconductors社)は，Safe-by-Wire Plusに対応したマスタICとスレーブICを開発しています．

例えば，UJA6402は2チャネルのバス・マスタICであり，SPIポートを介してECUのマイクロコントローラから制御されます．UJA6203はスレーブICであり，衝突検出センサのアナログ・データとSafe-by-Wire Plusバスの間のインターフェースとして機能します．エア・バッグ展開用のスレーブIC「AU6102A(評価用チップ)」は診断だけでなく，低エネルギーのスクイブの点火も制御します．

2004年11月29日～12月1日に開催された自動車の乗員安全システムに関するフォーラム「The 7th International Symposium and Exhibition on Sophisticated Car Occupant Safety Systems(Airbag 2004)」において，筆者らはこれらのデバイスを用いたデモンストレーションを行いました(**写真A-1**)．このデモンストレーションでは，遠隔制御の模型自動車にSafe-by-Wire Plusバスを組み込み，正しく動作することを示しました．

デモンストレーション用に製作された模型自動車には4個の衝突検出センサを装備しました．センサとスレーブ(センサ・インターフェース)IC(UJA6203)を一つのモジュールに組み込んで模型自動車に取り付けました．そのモジュールは2線のより対線を介してエア・バッグECU(簡素化されたモデル)のマスタIC(UJA6402)に接続されており，マイクロコントローラによって制御されていました．



写真A-1　Airbag 2004におけるデモンストレーション
模型自動車の前方，左右，後方に加速度センサを取り付け，スレーブIC(UJA6203)とマスタIC(UJA6402)の間でデータのやり取りを行った．

参考・引用*文献

(1) Safe-by-Wire Plus(ASRB2.0)に関するPhilips社のWebサイト，http://www.semiconductors.philips.com/markets/automotive/ivn/index.html#S WIRE

Len Arguello
オランダPhilips Semiconductors社
Business Development Manager for Automotive Safety Buses